

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 07-312800

(43)Date of publication of application : 28.11.1995

(51)Int.Cl.

H04S 1/00

G10K 15/12

G10K 15/00

H04S 7/00

(21)Application number : 06-105498

(71)Applicant : SHARP CORP

(22)Date of filing : 19.05.1994

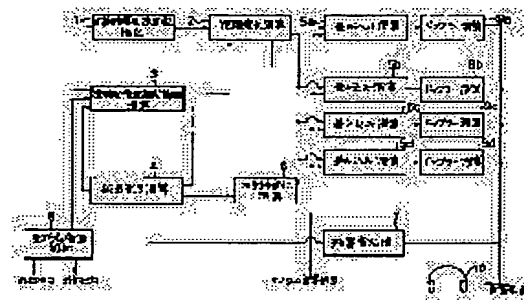
(72)Inventor : NAKAZAWA MASAYUKI

## (54) THREE-DIMENSION SOUND FIELD SPACE REPRODUCING DEVICE

## (57)Abstract:

**PURPOSE:** To generate a sound field space with presence feeling and to obtain a desired sound image by processing sequentially a direct sound and an initial reflecting sound and using a monaural acoustic signal so as to process a reverberation sound.

**CONSTITUTION:** When a listener/sound source control section 8 select one source among plural sound sources in a sound field space, the distance and the direction between a listener and a real sound source are calculated 3 by a calculation section. A head acoustic transfer function is estimated 1 in response to the direction of the real sound source in the direct sound processing. A distance change arithmetic section 2 adjusts sound pressure change, the change in a frequency characteristic and the time lag depending on the distance up to the real sound source, the monaural acoustic signal of the sound source and a transfer function are subjected to convolution arithmetic operation (5a) and the Doppler effect is processed 9a. In the initial reflecting sound processing, plural virtual sound source positions are calculated (4) and the adjustment of the sound pressure and frequency characteristic and time lag is calculated 6 and the result is subjected to convolution arithmetic operation 5b-5d. In the reverberation processing, a reverberation processing section 7 implement reverberation processing based on a chamber capacity in the sound field space, average absorbing rate and the monaural acoustic signal of the sound source.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

06.02.1998

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

3258816

[Date of registration]

07.12.2001

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

BEST AVAILABLE COPY

[Date of requesting appeal against examiner's decision  
of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-312800

(43) 公開日 平成7年(1995)11月28日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

H 0 4 S 1/00

識別記号

L

D

K

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

G 1 0 K 15/ 00

B

M

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 17 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平6-105498

(22) 出願日 平成6年(1994)5月19日

(71) 出願人 000005049

シャープ株式会社

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号

(72) 発明者 中沢 正幸

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号  
シャープ株式会社内

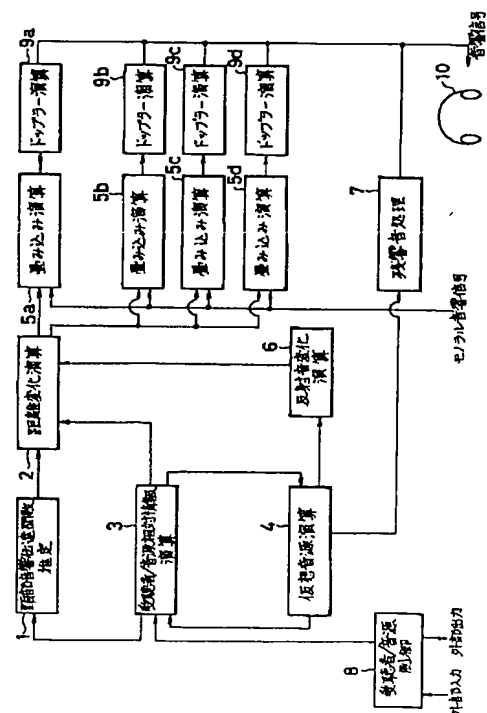
(74) 代理人 弁理士 川口 義雄 (外1名)

(54) 【発明の名称】 3次元音場空間再生装置

(57) 【要約】

【目的】 臨場感のある音場空間を作り出し、その中で受聴者自身や音源の位置、向き、移動速度、移動方向に合わせた音像を作り出して、高い臨場感のある音を聞くことができる3次元音場空間再生装置を提供する。

【構成】 直接音の処理を行う直接音処理手段と、初期反射音の処理を行う初期反射音処理手段と、音場空間の室容量、平均吸収率、及び音源のモノラル音響信号から残響音の処理を行う残響音処理手段とが配設されている。



(2)

## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 複数の音源の各直接音、初期反射音及び残響音に基づき 3 次元音場空間を再生する 3 次元音場空間再生装置であって、直接音の処理を行う直接音処理手段と、初期反射音の処理を行う初期反射音処理手段と、音場空間の室容量、平均吸収率、及び音源のモノラル音響信号から残響音の処理を行う残響音処理手段とを具備する 3 次元音場空間再生装置。

【請求項 2】 前記直接音処理手段は、受聴者と実音源との方向及び距離を算出する受聴者／音源相対情報演算手段と、算出された方向に応じた頭部音響伝達関数を推定する頭部音響伝達関数推定手段と、受聴者／音源相対情報演算手段により算出された実音源までの距離に基づいてその距離に応じて音圧、周波数特性及び時間遅れの調整を前記推定された頭部音響伝達関数に対して行う距離変化演算手段と、選ばれた音源のモノラルの音響信号と前記距離変化演算手段によって調整された頭部音響伝達関数とを畳み込み演算する畳み込み演算手段と、畳み込み演算された音響信号に受聴者の移動速度及び音源の移動速度に基づきドップラー効果の処理を施すドップラー演算手段とを具備する請求項 1 に記載の 3 次元音場空間再生装置。

【請求項 3】 前記初期反射音処理手段は、受聴者に対する音源の向き及び方向から複数の仮想音源位置を算出する仮想音源演算手段と、仮想音源の方向を算出する受聴者／音源相対情報演算手段と、算出された仮想音源の方向に応じた頭部音響伝達関数を推定する頭部音響伝達関数推定手段と、壁の反射、反射による周波数特性の変化から音圧、周波数特性及び時間遅れの調整を前記推定された頭部音響伝達関数に対して行う反射音変化演算手段と、仮想音源までの距離を算出する受聴者／音源相対情報演算手段と、算出された仮想音源までの距離に基づいてその距離に応じた音圧、周波数特性及び時間遅れの調整を前記反射音変化演算手段によって調整された頭部音響伝達関数に行う距離変化演算手段と、実音源のモノラルの音響信号と前記距離変化演算手段によって調整された頭部音響伝達関数とを畳み込み演算する畳み込み演算手段と、畳み込み演算された音響信号に受聴者の移動速度及び音源の移動速度に基づきドップラー効果の処理を施すドップラー演算手段とを具備する請求項 1 又は 2 に記載の 3 次元音場空間再生装置。

【請求項 4】 単位面積あたりの音響信号の密度、放射面積及び放射角度から受聴者及び音源の位置に応じて、その都度、初期反射音の到来方向を算出する演算処理手段を具備する請求項 1 から 3 のいずれか一項に記載の 3 次元音場空間再生装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、3 次元音場空間再生装置に関し、特にステレオヘッドホンによる受聴を前提と

し、音場空間の特性を考慮した直接音、初期反射音、残響音の処理により作り出された音場空間内で、受聴者自身や、音源の位置、向き、移動速度、移動方向に合わせた音像を作り出す 3 次元音場空間再生装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 3 次元音場制御の研究は、現在盛んに行われており、バーチャルリアリティ、スタジオでの録音などで多く利用されるようになってきている。3 次元の音場の再生には、スピーカ又はステレオヘッドホンが使われているが、バーチャルリアリティにおいては受聴者自体の動作があるため、外耳による散乱、遮蔽、共振、二つの耳のクロストークを除くために、ステレオヘッドホンが多く利用されている。

【0003】 3 次元音場制御を行うためには、音源からの音波が人の両耳に到達する経路を考え、壁の反射、回折、散乱等の伝達経路と、頭部音響伝達関数と呼ばれる頭部や耳介による反射、回折、共振等の伝達経路についての考察が必要であり、現在このような研究が各方面で盛んに行われている。この頭部音響伝達関数を用いて音像を頭外定位させるという理論については昔から数多くの文献が発表されており、すでに著名な文献として鹿島出版から発行されているブラウエルト、森本、後藤らの「空間音響」がある。この理論自体は 30 年ほど前に論文発表されており、周知である。

【0004】 現在、この理論を用いて数多くの発明がされている。特開平 5-137198 号公報及び特開平 5-252597 号公報のステレオヘッドホン受聴で頭外に音像を定位させる技術、特開平 5-260597 号公報及び特開平 5-268693 号公報のスピーカを用いた音場制御技術、特開平 5-306000 号公報のスピーカを用いた音像制御技術、特開平 5-49098 号公報のアクティブ消音を組み合わせた技術などがある。スピーカによる再生では音場の制御に関するものが多く、ステレオヘッドホンによる再生では音像方向の制御に関するものが多い。

【0005】 ステレオヘッドホン再生で、頭部音響伝達関数を用いて任意の方向に、しかも頭外に音像を定位させる場合、全ての方向にわたる頭部音響伝達関数を装置内のメモリに格納することは現実的には不可能であるため、所定角度単位ごとに格納するという方法をとるのが一般的である。こうした場合、角度単位を細かくし、メモリ内に格納されている方向に最も近い角度を選び代用するという方式や、角度単位は粗いままで最も近い角度を複数選出し、補正を行って代用するという方式がある。

【0006】 特開平 5-300599 号公報には、ステレオヘッドホン再生を前提とした、演算によって任意の角度のバイノーラル化を行い、計測の手間や記憶のためのメモリ容量を削減する音響装置が開示されている。

【0007】 この音響装置は、図 20 に示すように、所

(3)

3

定の角度間隔毎の複数の角度で計測された左右の頭部音響伝達関数を記憶したメモリ 101 と、各部を制御する制御回路 102 と、制御回路 102 からの信号によりメモリ 101 から読み出された、音像定位させたい任意の角度を挟んだ所定の角度の頭部音響伝達関数を書き込むレジスタ 103 ~ 106 と、レジスタ 103、104 からの信号を制御回路 102 から与えられる内挿、補間の比率によって演算を行って頭部音響伝達関数を算出する演算回路 107 と、レジスタ 105、106 からの信号を制御回路 102 から与えられる内挿、補間の比率によって演算を行って頭部音響伝達関数を算出する演算回路 108 と、演算回路 107 により算出された頭部音響伝達関数をモノラル音源 109 からのモノラル信号と畳み込み演算をする畳み込み回路 110 と、演算回路 108 により算出された頭部音響伝達関数をモノラル音源 109 からのモノラル信号と畳み込み演算をする畳み込み回路 110、111 と、畳み込み回路 110 に接続された左ヘッドホン 112 と、畳み込み回路 111 に接続された右ヘッドホン 113 とを具備している。

【0008】次に、本従来例の動作について説明する。

【0009】メモリ 1 には、所定の角度間隔毎の複数の角度で計測された左右の頭部音響伝達関数が記録されている。制御回路 102 からの信号により音像定位させたい任意の角度を挟んだ所定の角度の頭部音響伝達関数がメモリ 101 から読み出されてレジスタ 103 ~ 106 に書き込まれる。演算回路 107 によりレジスタ 103、104 からの信号を制御回路 102 から与えられる内挿、補間の比率によって演算が行われて頭部音響伝達関数が算出され、演算回路 108 によりレジスタ 105、106 からの信号を制御回路 102 から与えられる内挿、補間の比率によって演算が行われて頭部音響伝達関数が算出される。畳み込み回路 110 により演算回路 107 にて算出された頭部音響伝達関数がモノラル音源 109 からのモノラル信号と畳み込み演算され、畳み込み回路 111 により演算回路 108 にて算出された頭部音響伝達関数がモノラル音源 109 からのモノラル信号と畳み込み演算され、畳み込み演算された信号が左右ヘッドホンの 112、113 に供給される。

【0010】なお、頭部音響伝達関数の内挿、補間の演算は、メモリ 101 内に記憶された頭部音響伝達関数がそれぞれ直交変換によって周波数領域に変換され、更にそれはレベル及び位相に分解され、それぞれ内挿、補間の演算が行われる。

【0011】また、特開平 5-168097 号公報には、ステレオヘッドホンを前提とし、左右 2 個の音源信号のレベル差や遅延時間差を用いて、音源位置から離れた任意の位置に音像を定位させ、線形的な音像定位動作を行う方法が開示されている。ただし、少なくともレベル差または遅延時間差のある 2 チャンネルの音源が必要である。このように、任意の方向に頭部音響伝達関数を

4

推定する方法や、音像を移動させる方法について発明されているものもある。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】従来の 3 次元音場空間再生装置は、以上のように、音像を定位させることを主眼としており、音像の移動を含めて定位させ、また反射音や残響音を処理した音場を作り出すことに主眼をおいていない。そのため、臨場感のある音場空間を作り出し、その中で受聴者自身や音源の位置、向き、移動速度、移動方向に合わせた音像をリアルタイムに作り出すことはできない。また、ステレオヘッドホンを前提とし、直接音、到来方向を考慮した初期反射音、音場空間の室容積、平均吸収率から得られる残響時間による残響音の処理を加えることにより音場を作り出す方法もなかった。

【0013】本発明は、上記のような課題を解消するためになされたもので、臨場感のある音場空間を作り出し、その中で受聴者自身や音源の位置、向き、移動速度、移動方向に合わせた音像を作り出して、高い臨場感のある音を聞くことができる 3 次元音場空間再生装置を提供することを目的とする。

【0014】

【課題を解決するための手段】本発明によれば、前述の目的は、直接音の処理を行う直接音処理手段と、初期反射音の処理を行う初期反射音処理手段と、音場空間の室容量、平均吸収率、及び音源のモノラル音響信号から残響音の処理を行う残響音処理手段とを具備する請求項 1 の 3 次元音場空間再生装置によって達成される。

【0015】本発明によれば、前述の目的は、前記直接音処理手段が、受聴者と実音源との方向及び距離を算出する受聴者／音源相対情報演算手段と、算出された方向に応じた頭部音響伝達関数を推定する頭部音響伝達関数推定手段と、受聴者／音源相対情報演算手段により算出された実音源までの距離に基づいてその距離に応じて音圧、周波数特性、時間遅れの調整を前記推定された頭部音響伝達関数に対して行う距離変化演算手段と、選ばれた音源のモノラルの音響信号と前記距離変化演算手段によって調整された頭部音響伝達関数とを畳み込み演算する畳み込み演算手段と、畳み込み演算された音響信号に受聴者の移動速度、音源の移動速度に基づきドップラー効果の処理を施すドップラー演算手段とを具備する請求項 2 の 3 次元音場空間再生装置によって達成される。

【0016】本発明によれば、前述の目的は、前記初期反射音処理手段が、受聴者に対する音源の向き及び方向から複数の仮想音源位置を算出する仮想音源演算手段と、仮想音源の方向を算出する受聴者／音源相対情報演算手段と、算出された仮想音源の方向に応じた頭部音響伝達関数を推定する頭部音響伝達関数推定手段と、壁の反射、反射による周波数特性変化から音圧、周波数特性、時間遅れの調整を前記推定された頭部音響伝達関数

(4)

5

に行う反射音変化演算手段と、仮想音源までの距離を算出する受聴者／音源相対情報演算手段と、算出された仮想音源までの距離に応じて音圧、周波数特性、時間遅れの調整を前記反射音変化演算手段によって調整された頭部音響伝達関数に行う距離変化演算手段と、実音源のモノラルの音響信号と前記距離変化演算手段によって調整された頭部音響伝達関数とを畳み込み演算する畳み込み演算手段と、畳み込み演算された音響信号に受聴者の移動速度、音源の移動速度に基づきドップラー効果の処理を施すドップラー演算手段とを具備する請求項 3 の 3 次元音場空間再生装置によって達成される。

【0017】本発明によれば、前述の目的は、単位面積あたりの音響信号の密度、放射面積及び放射角度から受聴者及び音源の位置に応じて、その都度、初期反射音の到来方向を算出する演算処理手段を具備する請求項 4 の 3 次元音場空間再生装置によって達成される。

【0018】

【作用】請求項 1 の 3 次元音場空間再生装置によれば、直接音処理手段により直接音の処理が行われ、初期反射音処理手段により初期反射音の処理が行われ、残響音処理手段により音場空間の室容量、平均吸収率、及び音源のモノラル音響信号から残響音の処理が行われる。これにより、臨場感のある音場空間を作り出し、その中で受聴者自身や音源の位置、向き、移動速度、移動方向に合わせた音像を作り出すことができる。

【0019】請求項 2 の 3 次元音場空間再生装置によれば、受聴者／音源相対情報演算手段により受聴者と実音源との方向及び距離が算出され、頭部音響伝達関数推定手段により算出された方向に応じた頭部音響伝達関数が推定され、距離変化演算手段により受聴者／音源相対情報演算手段にて算出された実音源までの距離よりその距離に応じた音圧変化、周波数特性の変化、時間遅れの調整が頭部音響伝達関数に対して行われ、畳み込み演算手段により選ばれた音源のモノラルの音響信号と頭部音響伝達関数とが畳み込み演算され、ドップラー演算手段により作り出された音響信号に受聴者の移動速度、音源の移動速度に基づきドップラー効果の処理が施される。これにより、音場空間の中で受聴者自身や音源の位置、向き、移動速度、移動方向に合わせた音像を作り出すことができる。

【0020】請求項 3 の 3 次元音場空間再生装置によれば、仮想音源演算手段により受聴者に対する音源の向き及び方向から複数の仮想音源位置が算出され、受聴者／音源相対情報演算手段により仮想音源の方向が算出され、頭部音響伝達関数推定手段により算出された仮想音源の方向に応じた頭部音響伝達関数が推定され、反射音変化演算手段により頭部音響伝達関数推定手段にて算出された仮想音源の方向に応じた、壁の反射、反射による周波数特性変化から音圧、周波数特性、時間遅れの調節が頭部音響伝達関数に施され、受聴者／音源相対情報演

6

算手段により仮想音源までの距離が算出され、距離変化演算手段により算出された距離に応じた音圧変化、周波数特性の変化、時間遅れの調整が頭部音響伝達関数に施され、畳み込み演算手段により実音源のモノラルの音響信号と頭部音響伝達関数とが畳み込み演算され、ドップラー演算手段により作り出された音響信号に受聴者の移動速度、音源の移動速度に基づきドップラー効果の処理が施される。これにより、臨場感のある音場空間を作り出すことができる。

【0021】請求項 4 の 3 次元音場空間再生装置によれば、受聴者及び音源の位置が変更される度に、単位面積あたりの音響信号の密度、放射面積及び放射角度から受聴者及び音源の位置に応じた、初期反射音の到来方向が算出される。これにより、受聴者自身や音源の位置に合わせた音像を作り出すことができる。

【0022】

【実施例】以下、本発明の 3 次元音場空間再生装置の実施例を図を参照しながら説明する。

【0023】3 次元音場空間再生装置は、図 1 に示すように、外部インタフェースを有しかつ音場空間内の複数の音源の中から一つの音源を選択する受聴者／音源制御ユニット 8 と、受聴者と実音源との方向及び距離を算出すると共に仮想音源の方向及び距離を算出する受聴者／音源相対情報演算ユニット 3 と、ユニット 3 により算出された仮想音源方向及び実音源方向に応じて頭部音響伝達関数を推定する頭部音響伝達関数推定ユニット 1 と、実音源までの距離及び仮想音源までの距離よりその距離に応じた音圧変化、周波数特性の変化、時間遅れの調整を頭部音響伝達関数に対して行う距離変化演算ユニット 2 と、選ばれた音源のモノラルの音響信号と頭部音響伝達関数とを畳み込み演算する畳み込み演算ユニット 5 a と、畳み込み演算ユニット 5 a により作り出された音響信号に受聴者の移動速度、音源の移動速度に基づきドップラー効果の処理を施すドップラー演算ユニット 9 a と、受聴者に対する音源の向き及び方向から複数の仮想音源位置を算出する仮想音源演算ユニット 4 と、壁の反射、反射による周波数特性変化から音圧、周波数特性、時間遅れの調節を頭部音響伝達関数に施す反射音変化演算ユニット 6 と、実音源のモノラルの音響信号と頭部音響伝達関数とを畳み込み演算する畳み込み演算ユニット 5 b ～ 5 d と、畳み込み演算ユニット 5 b ～ 5 d のそれぞれにより作り出された音響信号に受聴者の移動速度、音源の移動速度に基づきドップラー効果の処理を施すドップラー演算ユニット 9 b ～ 9 d と、音場空間の室容量、平均吸収率、及び音源のモノラル音響信号から残響音の処理を行う残響音処理ユニット 7 と、音響信号が出力されるステレオヘッドホン 10 とを具備している。

【0024】受聴者／音源相対情報演算ユニット 3 と、頭部音響伝達関数推定ユニット 1 と、距離変化演算ユニット 2 と、畳み込み演算ユニット 5 a と、ドップラー演

(5)

7

算ユニット 9 a とにより直接音処理手段が構成されている。また、仮想音源演算ユニット 4 と、受聴者／音源相対情報演算ユニット 3 と、頭部音響伝達関数推定ユニット 1 と、反射音変化演算ユニット 6 と、受聴者／音源相対情報演算ユニット 3 と、距離変化演算ユニット 2 と、畳み込み演算ユニット 5 b ～ 5 d と、ドップラー演算ユニット 9 b ～ 9 d とにより初期反射音処理手段が構成されている。

【0025】頭部音響伝達関数推定ユニット 1 は、図 2 に示すように、受聴者の各方向別の頭部音響伝達関数を格納した頭部音響伝達関数テーブル 1 1 と、音源の方向から頭部音響伝達関数テーブル 1 1 より最も近い頭部音響伝達関数を選び出して記憶する複数の右耳用メモリ 1 2、1 3、1 4 と、左耳用メモリ 1 5、1 6、1 7 と、右耳用メモリ 1 2、1 3、1 4 に記憶された頭部音響伝達関数から任意の方向の頭部音響伝達関数を補間処理等により算出する右耳用演算回路 1 8 と、左耳用メモリ 1 5、1 6、1 7 に記憶された頭部音響伝達関数から任意の方向の頭部音響伝達関数を補間処理等により算出する左耳用演算回路 1 9 とを具備している。

【0026】距離変化演算ユニット 2 は、図 3 に示すように、受聴者と音源との距離による音圧変化を格納した音圧変化テーブル 2 1 と、受聴者と音源との距離による周波数特性の変化を格納した周波数特性変化テーブル 2 2 と、受聴者と音源との距離による時間遅れを格納した時間遅れテーブル 2 3 と、右耳用頭部音響伝達関数に音圧変化テーブル 2 1 を参照して受聴者と音源との距離に応じた音圧変化の演算を行って右耳用頭部音響伝達関数を調整する演算回路 2 4 と、左耳用頭部音響伝達関数に音圧変化テーブル 2 1 を参照して受聴者と音源との距離に応じた音圧変化の演算を行って左耳用頭部音響伝達関数を調整する演算回路 2 5 と、演算回路 2 4 により調整された右耳用頭部音響伝達関数に周波数特性変化テーブル 2 2 を参照して受聴者と音源との距離に応じた周波数特性変化の演算を行って右耳用頭部音響伝達関数を調整する演算回路 2 6 と、演算回路 2 5 により調整された左耳用頭部音響伝達関数に周波数特性変化テーブル 2 2 を参照して受聴者と音源との距離に応じた周波数特性変化の演算を行って左耳用頭部音響伝達関数を調整する演算回路 2 7 と、演算回路 2 6 により調整された右耳用頭部音響伝達関数に時間遅れテーブル 2 3 を参照して受聴者と音源との距離に応じた時間遅れの演算を行って右耳用頭部音響伝達関数を調整する演算回路 2 8 と、演算回路 2 7 により調整された左耳用頭部音響伝達関数に時間遅れテーブル 2 3 を参照して受聴者と音源との距離に応じた時間遅れの演算を行って左耳用頭部音響伝達関数を調整する演算回路 2 9 とを具備している。

【0027】受聴者／音源相対情報演算ユニット 3 は、図 4 に示すように、受聴者の位置、向き、移動速度、移動方向の情報を格納した受聴者テーブル 3 1 と、複数の

8

音源それぞれの位置、向き、移動速度、移動方向の情報を格納した音源テーブル 3 2 と、受聴者テーブル 3 1 より受聴者の位置、向き、移動速度、移動方向の情報を読み出して記憶するメモリ 3 3 と、音源テーブル 3 2 より複数の音源それぞれの位置、向き、移動速度、移動方向の情報を読み出して記憶するメモリ 3 4 と、受聴者の位置、向き、移動速度、移動方向の情報及び複数の音源それぞれの位置、向き、移動速度、移動方向の情報から受聴者に対する実音源または仮想音源位置から受聴者に対する音源の方向、受聴者に対する音源までの距離、受聴者の移動速度、実音源の移動速度を算出する演算回路 3 5 とを具備している。

【0028】仮想音源演算ユニット 4 は、図 5 に示すように、音場空間の形状、室容積、平均吸収率、壁の反射率、壁からの反射による周波数特性変化、障害物の位置、障害物の形状、障害物の反射率、障害物の反射による周波数特性変化の情報を格納した音場空間テーブル 4 1 と、音場空間テーブル 4 1 からそれらの情報を読み出して記憶するメモリ 4 2 と、前記受聴者／音源相対情報演算ユニット 3 から出力される受聴者に対する音源の位置、受聴者に対する音源の向きを記憶するメモリ 4 3 と、音場空間の形状、室容積、平均吸収率、壁の反射率、壁からの反射による周波数特性変化、障害物の位置、障害物の形状、障害物の反射率、障害物の反射による周波数特性変化の情報及び受聴者に対する音源の位置、受聴者に対する音源の向きの情報から初期反射音のための仮想音源の位置を算出する演算回路 4 4 とを具備している。

【0029】演算ユニット 5 a は、図 6 に示すように、右耳用頭部音響伝達関数を記憶するメモリ 5 1 と、左耳用頭部音響伝達関数を記憶するメモリ 5 2 と、メモリ 5 1 が記憶する右耳用頭部音響伝達関数とモノラル音源とを畳み込み演算する畳み込み演算回路 5 3 と、メモリ 5 2 が記憶する左耳用頭部音響伝達関数とモノラル音源とを畳み込み演算する畳み込み演算回路 5 4 とを具備している。

【0030】演算ユニット 5 b ～ 5 d のそれぞれは、ユニット 5 a と互いに同一構成である。

【0031】反射音変化演算ユニット 6 は、図 7 に示すように、反射率及び仮想音源までの距離により右耳用頭部音響伝達関数に音圧変化の調節を施す音圧変化演算回路 6 1 と、反射率及び仮想音源までの距離により左耳用頭部音響伝達関数に音圧変化の調節を施す音圧変化演算回路 6 2 と、反射率及び仮想音源までの距離により右耳用頭部音響伝達関数に周波数特性変化の調節を施す周波数特性変化演算回路 6 3 と、反射率及び仮想音源までの距離により左耳用頭部音響伝達関数に周波数特性変化の調節を施す周波数特性変化演算回路 6 4 と、反射率及び仮想音源までの距離により右耳用頭部音響伝達関数に時間遅れの調節を施す時間遅れ演算回路 6 5 と、反射率及

9

び仮想音源までの距離により左耳用頭部音響伝達関数に時間遅れの調節を施す時間遅れ演算回路66とを具備している。

【0032】残響音処理ユニット7は、図8に示すように、音場空間の室容量、平均吸収率、及び右耳用音響信号から残響音の処理を行う演算回路71と、音場空間の室容量、平均吸収率、及び左耳用音響信号から残響音の処理を行う演算回路72とを具備している。

【0033】受聴者／音源制御ユニット8は、図9に示すように、外部入出力信号を送受信する外部通信インタフェース81と、前記頭部音響伝達関数テーブル11と、前記音圧変化テーブル21と、前記周波数特性変化テーブル22と、前記時間遅れテーブル23と、前記受聴者テーブル31と、前記音源テーブル32と、前記音場空間テーブル41と、これらのテーブルを参照して受聴者／音源制御信号を出力するCPU82とを具備している。

【0034】ドップラー演算ユニット9aは、図10に示すように、受聴者の移動速度、音源の移動速度に基づき、右耳用音響信号、左耳用音響信号にドップラー効果の処理を施す周波数変調回路91を備えている。

【0035】ドップラー演算ユニット9b～9dのそれぞれは、ユニット9aと互いに同一構成である。

【0036】次に、音に関しての音場の分布のパターンについて図11a及び図11bを用いて説明する。

【0037】舞台上の音源から四方に出る音は、図11aに示すように、舞台から真っ直ぐに受聴者に届く直接音120と、壁、天井、床などに反射して直接音よりも道程が長い分だけ時間的に遅れて届く反射波群121とに分けることができる。反射波群121は、図11bに示すように、更に左右の両壁面を最初の反射とする初期反射音と、何回となく反射を繰り返しながら四方八方からランダムに届き、初期反射よりも更に時間が遅れ、しかもその遅れかたはまちまちであり、かつレベルも次第に減衰するというパターンを持った一連の残響音とからなっている。

【0038】直接音は、音源の定位、音質の表現を行う役割を持っており、初期反射音は、広がり感、直接音の補強、明瞭度の助長、音の艶、ハーモニーを作り出す役割を持っている。残響音は、明瞭度には大きく貢献はしないが、響き、豊かさなどで受聴者を包み込む雰囲気を作り出す役割を持っている。従って、直接音、初期反射音、残響音を処理することは、音場を作り出すということに非常に重要な要素となる。

【0039】次に、本実施例の動作を図12のフローチャートに沿って説明する。

【0040】音場空間内で複数の音源の中から一つの音源が受聴者／音源制御ユニット8により選択されると

(ステップS1)、受聴者／音源相対情報演算ユニット3により受聴者と実音源との方向及び距離が算出される

(6)

10

(ステップS2)。直接音処理において、ユニット3により算出された実音源方向に応じて頭部音響伝達関数が頭部音響伝達関数推定ユニット1により推定される(ステップS3)。距離変化演算ユニット2により実音源までの距離よりその距離に応じた音圧変化、周波数特性の変化、時間遅れの調整が頭部音響伝達関数に対して行われ(ステップS4)、畳み込み演算ユニット5aにより音源のモノラルの音響信号と頭部音響伝達関数とが畳み込み演算される(ステップS5)。ユニット5aにより作り出された音響信号に受聴者の移動速度、音源の移動速度に基づきドップラー効果の処理がドップラー演算ユニット9aにより施される(ステップS6)。

【0041】初期反射音処理において、仮想音源演算ユニット4により受聴者に対する音源の向き及び方向から複数の仮想音源位置が算出され、その複数の仮想音源についてはユニット3により仮想音源の方向が算出される(ステップS7)。ユニット3により算出された仮想音源方向に応じて頭部音響伝達関数が頭部音響伝達関数推定ユニット1により推定される(ステップS8)。反射音変化演算ユニット6により壁の反射、反射による周波数特性変化から音圧、周波数特性、時間遅れの調節が頭部音響伝達関数に施される(ステップS9)。ユニット3により算出された仮想音源までの距離に応じた音圧変化、周波数特性の変化、時間遅れの調整が距離変化演算ユニット2により頭部音響伝達関数に対して行われ(ステップS10)、畳み込み演算ユニット5b～5dにより実音源のモノラルの音響信号と頭部音響伝達関数とが畳み込み演算され(ステップS11)、ユニット5b～5dにより作り出された音響信号に受聴者の移動速度、音源の移動速度に基づきドップラー効果の処理がドップラー演算ユニット9b～9dにより施される(ステップS12)。

【0042】残響音処理において、残響音処理ユニット7により音場空間の室容量、平均吸収率、及び音源のモノラル音響信号から残響音の処理が行われる(ステップS13)。そして、直接音処理、初期反射音処理、残響音処理において求められた音響信号がステレオヘッドホン10に出力される(ステップS14)。

【0043】この直接音、初期反射音、残響音は、受聴者または音源の位置が変わると(ステップS15)、前述ステップS2に戻り、以降の動作を繰り返す。受聴者や複数の音源位置は、ユニット8により管理されており、直接音の処理の途中、初期反射音処理での仮想音源の算出の途中、残響音の処理の途中で受聴者または音源の位置が変わった場合でも、前述ステップS2に戻り、処理をやり直す。音源、受聴者の位置に変化がなければ、直接音処理では前述ステップS5に戻り、初期反射音処理では前述ステップS11に戻る以降の動作が繰り返される。

【0044】次に、各ユニットの詳細な動作について説



(7)

11

明する。

【0045】頭部音響伝達関数推定ユニット1では、頭部音響伝達関数テーブル11に受聴者の各方向別の頭部音響伝達関数が格納されており、右耳用メモリ12、13、14及び左耳用メモリ15、16、17に音源の方向から頭部音響伝達関数テーブル11より最も近い頭部音響伝達関数が選出されて記憶される。右耳用演算回路18により右耳用メモリ12、13、14に記憶された頭部音響伝達関数から任意の方向の頭部音響伝達関数が補間処理等により算出され、左耳用演算回路19により左耳用メモリ15、16、17に記憶された頭部音響伝達関数から任意の方向の頭部音響伝達関数が補間処理等により算出される。なお、頭部音響伝達関数テーブル11は、図13a～図13dに示すように、例えば、サンプリングレート48000Hz、サンプリング数256、量子化ビット16の水平面内の正面方向、真後ろ方向、右90度、左90度の各頭部音響伝達関数テーブルからなっている。この例の頭部音響伝達関数は時間換算で5.3msecのインパルス応答である。

【0046】距離変化演算ユニット2では、音圧変化テーブル21により受聴者と音源との距離による音圧変化が格納されており、周波数特性変化テーブル22により受聴者と音源との距離による周波数特性の変化が格納されており、時間遅れテーブル23により受聴者と音源との距離による時間遅れが格納されている。演算回路24により右耳用頭部音響伝達関数に図14に示すような音像と受聴レベルの依存関係である音圧変化テーブル21が参照されて受聴者と音源との距離に応じた音圧変化の演算が行われ、右耳用頭部音響伝達関数が調整される。図14の音圧変化テーブル21は、スピーカが3mと9mの2点に置かれ、その他にも3個のスピーカが見えるように置かれた無響室での音像距離と受聴レベルの例である。演算回路25により左耳用頭部音響伝達関数に音圧変化テーブル21が参照されて受聴者と音源との距離に応じた音圧変化の演算を行われ、左耳用頭部音響伝達関数が調整される。演算回路26により調整済みの右耳用頭部音響伝達関数に図15に示すような等ラウドネス曲線の周波数特性変化テーブル22が参照されて受聴者と音源との距離に応じた周波数特性変化の演算が行われ、右耳用頭部音響伝達関数が調整される。なお、図15の周波数特性変化テーブル22は、正面方向から入射する純音を両耳で聞いた時の、正常な聴力を有する18～25才の者の可聴範囲と等ラウドネス曲線で示される例である。演算回路27により調整済みの左耳用頭部音響伝達関数に周波数特性変化テーブル22が参照されて受聴者と音源との距離に応じた周波数特性変化の演算が行われ、左耳用頭部音響伝達関数が調整される。演算回路28により調整済みの右耳用頭部音響伝達関数に図16に示すような時間遅れテーブル23が参照されて受聴者と音源との距離に応じた時間遅れの演算が行われ、右

12

耳用頭部音響伝達関数が調整される。演算回路29により調整済みの左耳用頭部音響伝達関数に時間遅れテーブル23が参照されて受聴者と音源との距離に応じた時間遅れの演算が行われる。なお、時間遅れテーブル23において、音速度 $v$ は、 $t$ を摂氏温度とすると、 $v = 331.5 + 0.6t$  (m/s)で算出している。

【0047】受聴者／音源相対情報演算ユニット3では、図17に示すような受聴者テーブル31により受聴者の位置、向き、移動速度、移動方向の情報が格納され、図18に示すような音源テーブル32により複数の音源それぞれの位置、向き、移動速度、移動方向、音源の指向性等の情報が格納される。受聴者テーブル31より受聴者の位置、向き、移動速度、移動方向の情報が読み出されてメモリ33に記憶され、音源テーブル32より複数の音源それぞれの位置、向き、移動速度、移動方向の情報が読み出されてメモリ34に記憶される。なお、音源の指向性は、単位面積当たりの音響信号の密度、面積及び放射角度として格納されている。演算回路35により受聴者の位置、向き、移動速度、移動方向の情報及び複数の音源それぞれの位置、向き、移動速度、移動方向の情報から受聴者に対する実音源または仮想音源位置から受聴者に対する音源の方向、受聴者に対する音源までの距離、受聴者の移動速度、実音源の移動速度が算出される。なお、受聴者及び音源の移動速度は3次元軸方向の速度に分解されて出力される。図17の位置は、3次元空間上での位置のため、3次元の座標であり、向きはベクトル表示である。移動速度は時速表示であり、移動方向はベクトル表示である。図18における位置、向き、移動速度、移動方向も同様である。音源識別は、実音源であるのか、仮想音源演算ユニット4で算出された仮想音源であるかを示している。指向性には、単位面積当たりの音響信号の密度、面積及び放射角度が格納されている。

【0048】前記仮想音源演算ユニット4では、音場空間テーブル41により3次元音場空間の形状、室容積、平均吸収率、壁の反射率、壁からの反射による周波数特性変化、障害物の位置、障害物の形状、障害物の反射率、障害物の反射による周波数特性変化の情報が格納され、音場空間テーブル41からそれらの情報が読み出されてメモリ42に記憶され、前記受聴者／音源相対情報演算ユニット3から出力される受聴者に対する音源の位置、受聴者に対する音源の向きがメモリ43に記憶され、演算回路44によりメモリ42に記憶されている音場空間の形状、室容積、平均吸収率、壁の反射率、壁からの反射による周波数特性変化、障害物の位置、障害物の形状、障害物の反射率、障害物の反射による周波数特性変化の情報及びメモリ43に記憶されている受聴者に対する音源の位置、受聴者に対する音源の向きの情報から初期反射音のための仮想音源の位置が算出される。仮

(8)

13

想音源の位置は、音源の指向性、すなわち音響信号の放射を追跡することで推定することができる。この時、障害物に音響信号がぶつかれば、反対方向、反射率による音圧の減衰を考慮して算出される。コンピュータグラフィックでのレイ・トレーシング法等により算出される。このようにして算出された音場空間の特性は、図19aに示すような音場空間テーブル41に登録される。障害物は一つしか格納されていないが、複数の格納が可能である。なお、図19bは平均吸収率を考慮した反射による周波数特性変化を示している。

【0049】畳み込み演算ユニット5a～5dでは、メモリ51により右耳用頭部音響伝達関数が記憶され、メモリ52により左耳用頭部音響伝達関数が記憶され、メモリ51が記憶する右耳用頭部音響伝達関数とモノラル音源とが畳み込み演算回路53により畳み込み演算されて右耳用音響信号が出力され、メモリ52が記憶する左耳用頭部音響伝達関数とモノラル音源とが畳み込み演算回路54により畳み込み演算されて左耳用音響信号が出力される。実際の装置での畳み込み演算は、演算特性を考慮した専用プロセッサや汎用プロセッサを用いることができる。

【0050】前記反射音変化演算ユニット6では、音圧変化演算回路61により反射率及び仮想音源までの距離により右耳用頭部音響伝達関数に音圧変化の調節が施され、音圧変化演算回路62により反射率及び仮想音源までの距離により左耳用頭部音響伝達関数に音圧変化の調節が施される。周波数特性変化演算回路63により反射率及び仮想音源までの距離により右耳用頭部音響伝達関数に周波数特性変化の調節が施され、周波数特性変化演算回路64により反射率及び仮想音源までの距離により左耳用頭部音響伝達関数に周波数特性変化の調節が施される。時間遅れ演算回路65により反射率及び仮想音源までの距離により右耳用頭部音響伝達関数に時間遅れの調節が施され、時間遅れ演算回路66により反射率及び仮想音源までの距離により左耳用頭部音響伝達関数に時間遅れの調節が施される。

【0051】前記残響音処理ユニット7では、演算回路71により音場空間の室容量、平均吸収率、及び右耳用音響信号から残響音の処理が行われて右耳用音響信号が出力され、演算回路72により音場空間の室容量、平均吸収率、及び左耳用音響信号から残響音の処理が行われて左耳用音響信号が出力される。

【0052】受聴者／音源制御ユニット8では、外部通信インタフェース81により音場空間内での受聴者と各音源の位置、向き、方向、速度が制御される。CPU82により頭部音響伝達関数テーブル11、音圧変化テーブル21、周波数特性変化テーブル22、時間遅れテーブル23、受聴者テーブル31、音源テーブル32及び音場空間テーブル41が管理される。外部通信インタフェース81を介しての要求により各テーブルの内容が変

14

更される。

【0053】ドップラー演算ユニット9a～9dでは、周波数変調回路91により受聴者の移動速度、実音源及び仮想音源の移動速度に基づき、右耳用音響信号、左耳用音響信号にドップラー効果の処理が施されて右耳用音響信号、左耳用音響信号が出力される。ドップラー演算は、サンプリングレートの変更などによる周波数変調回路や、フーリエ変換などによる周波数解析後に、各周波数毎への変調を行う方法などにより演算を行うことができる。

【0054】以上により、音場空間の特性を考慮した直接音、音の到来方向を考慮した初期反射音、音場空間の室容積、平均吸収率から得られる残響時間による残響音の処理を行うことが可能となり、その音場空間内を受聴者が移動した場合や、音源が移動した場合にも対応でき、臨場感の高い音場を作ることが可能となる。ヘッドホンステレオ、ミニコンボなどの各種オーディオ機器に応用すれば、高い臨場感のある音を聴くことが可能となる。また、本発明を利用して作った音を、カセットテープ、コンパクトディスク、ミニディスクなどの記録媒体に録音しておけば、オーディオ機器を改良・変更することなしに、高い臨場感を得ることが可能になる。更に、バーチャル・リアリティに応用でき、仮想空間の情報を音場空間に当てはめることや、各種センサからの情報を外部通信インタフェースを介して受聴者、音源情報を制御することで仮想空間の実現に利用できる。

【0055】

【発明の効果】請求項1の3次元音場空間再生装置によれば、臨場感のある音場空間を作り出し、その中で受聴者自身や音源の位置、向き、移動速度、移動方向に合わせた音像を作り出すことができる。

【0056】請求項2の3次元音場空間再生装置によれば、音場空間の中で受聴者自身や音源の位置、向き、移動速度、移動方向に合わせた音像を作り出すことができる。

【0057】請求項3の3次元音場空間再生装置によれば、臨場感のある音場空間を作り出すことができる。

【0058】請求項4の3次元音場空間再生装置によれば、臨場感のある音場空間を作り出し、その中で受聴者自身や音源の位置、向き、移動速度、移動方向に合わせた初期反射音を作り出すことができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の3次元音場空間再生装置の実施例の構成を示すブロック図である。

【図2】頭部音響伝達関数推定ユニットの構成を示すブロック図である。

【図3】距離変化演算ユニットの構成を示すブロック図である。

【図4】受聴者／音源相対情報演算ユニットの構成を示すブロック図である。

(9)

15

【図5】仮想音源演算ユニットの構成を示すブロック図である。

【図6】畳み込み演算ユニットの構成を示すブロック図である。

【図7】反射音変化演算ユニットの構成を示すブロック図である。

【図8】残響音処理ユニットの構成を示すブロック図である。

【図9】受聴者／音源制御ユニットの構成を示すブロック図である。

【図10】ドップラー演算ユニットの構成を示すブロック図である。

【図11a】音場の反射音の分布パターンを示す図である。

【図11b】時間軸から見た音場の分布パターンを示す図である。

【図12】本発明の3次元音場空間再生装置の実施例の動作を示すフローチャートである。

【図13a】正面方向の頭部音響伝達関数テーブル例を示す図である。

【図13b】真後方向の頭部音響伝達関数テーブル例を示す図である。

【図13c】右90度方向の頭部音響伝達関数テーブル

16

例を示す図である。

【図13d】左90度方向の頭部音響伝達関数テーブル例を示す図である。

【図14】音圧変化テーブル例を示す図である。

【図15】周波数特性変化テーブル例を示す図である。

【図16】時間送れテーブル例を示す図である。

【図17】受聴者テーブル例を示す表である。

【図18】音源テーブル例を示す表である。

【図19a】音場空間テーブル例を示す表である。

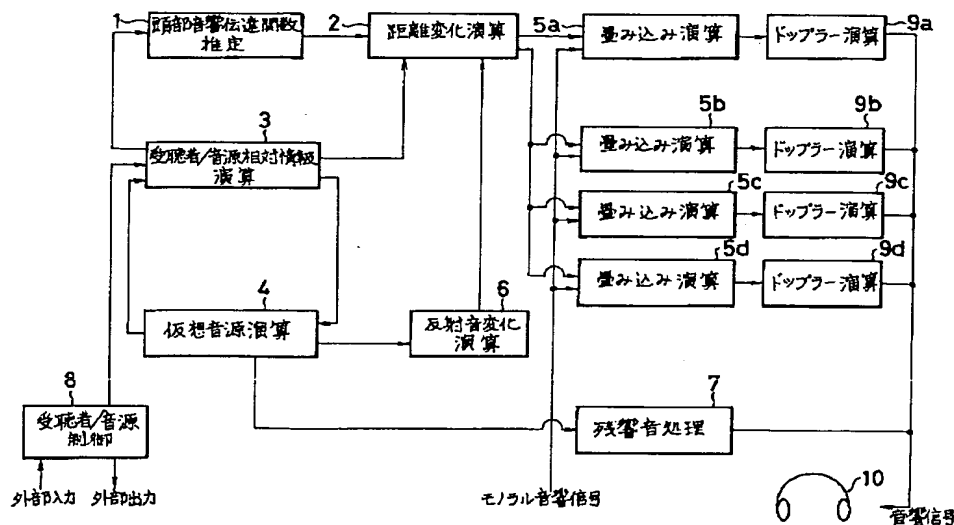
【図19b】反射による周波数特性変化を示す図である。

【図20】従来の音響装置の構成を示すブロック図である。

【符号の説明】

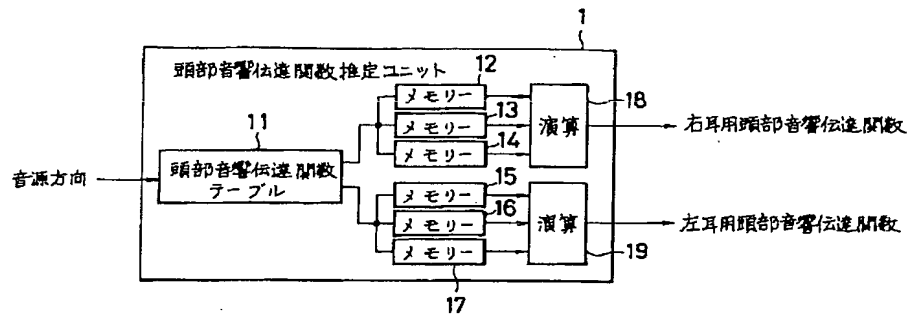
- 1 頭部音響伝達関数推定ユニット
- 2 距離変化演算ユニット
- 3 受聴者／音源相対情報演算ユニット
- 4 仮想音源演算ユニット
- 5a～5d 畳み込み演算ユニット
- 6 反射音変化演算ユニット
- 7 残響音処理ユニット
- 8 受聴者／音源制御ユニット
- 9a～9d ドップラー演算ユニット

【図1】

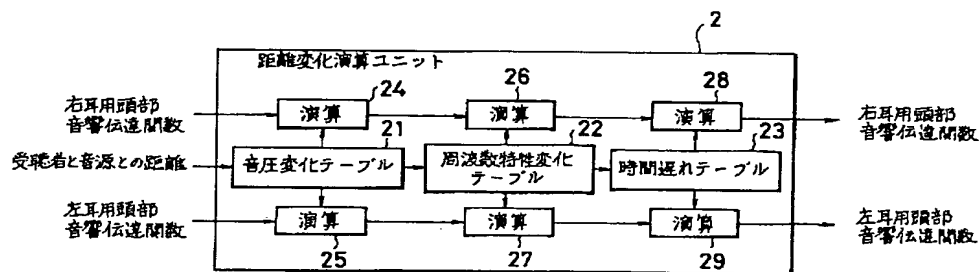


(10)

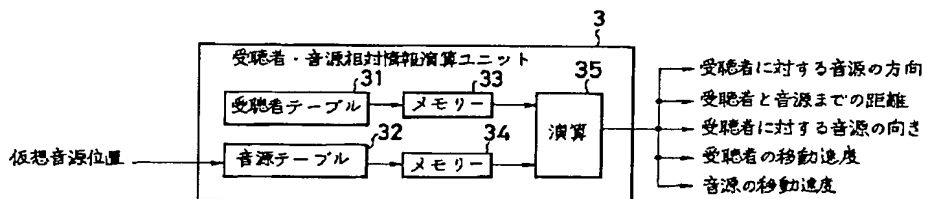
【図2】



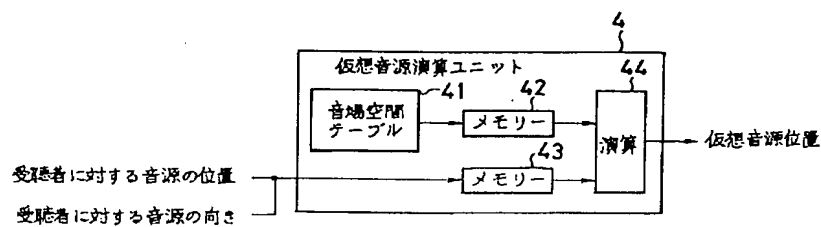
【図3】



【図4】



【図5】

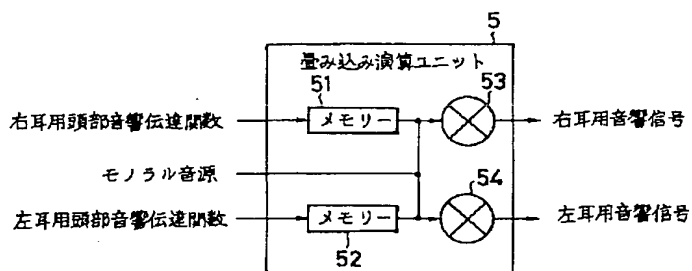


【図17】

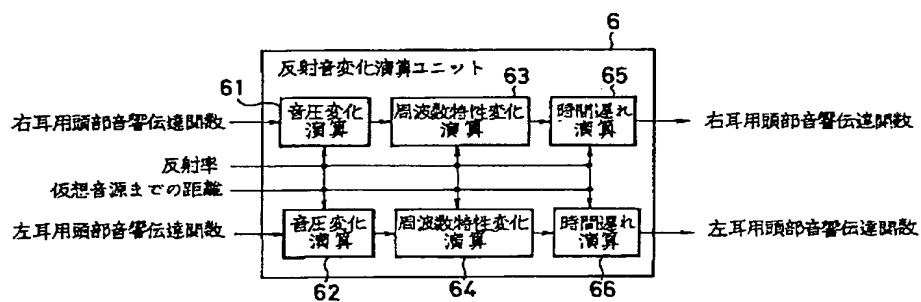
| 受聴者テーブル |                   |
|---------|-------------------|
| 位置      | { 100, 100, 100 } |
| 向き      | { 120, 30, 40 }   |
| 移動速度    | 20 km/h           |
| 移動方向    | { 120, 200, 240 } |

(11)

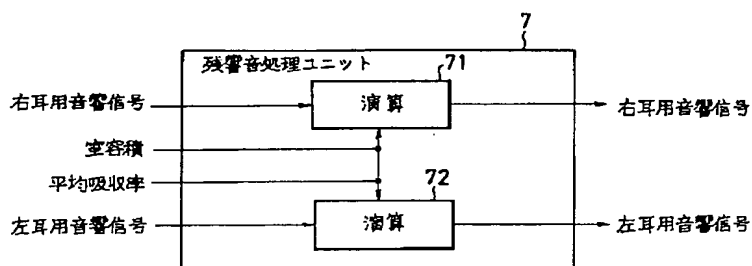
【図6】



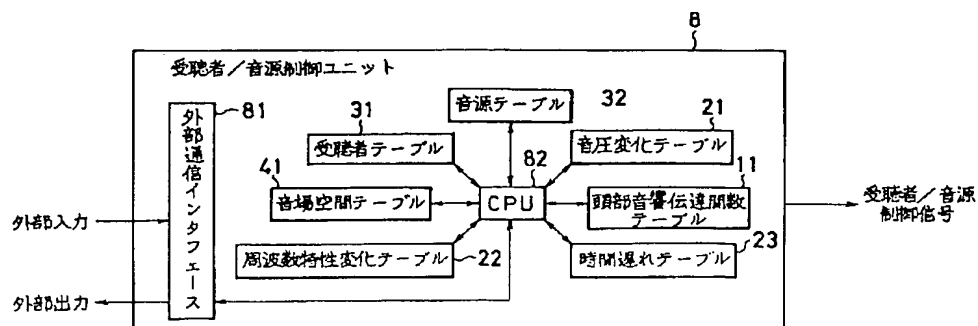
【図7】



【図8】

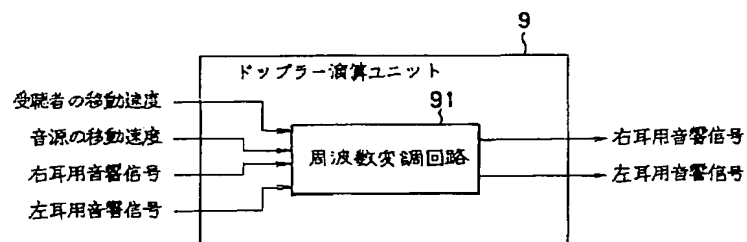


【図9】

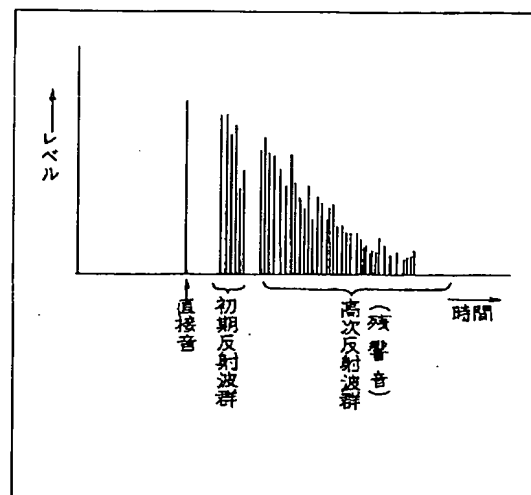


(12)

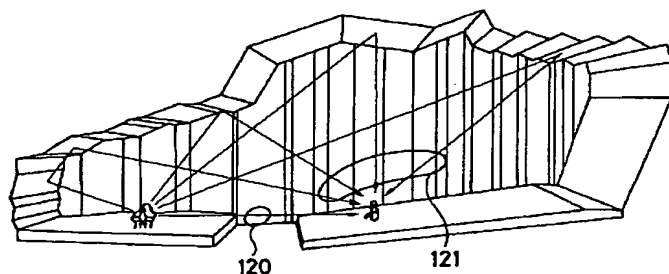
【図10】



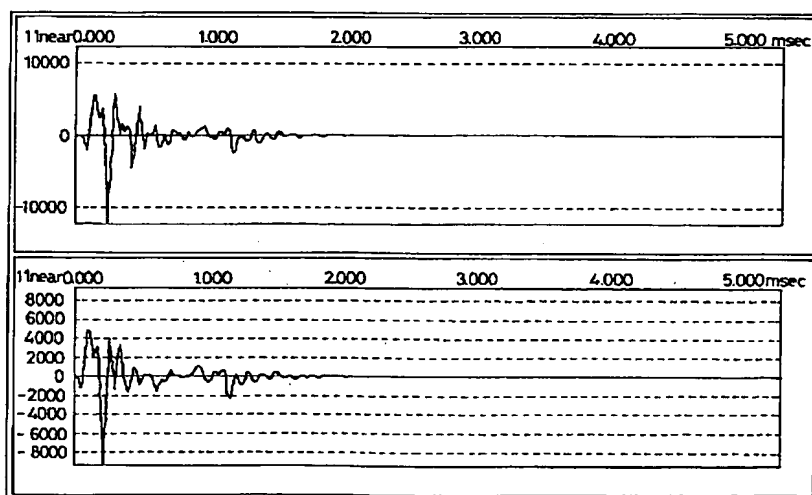
【図11b】



【図11a】



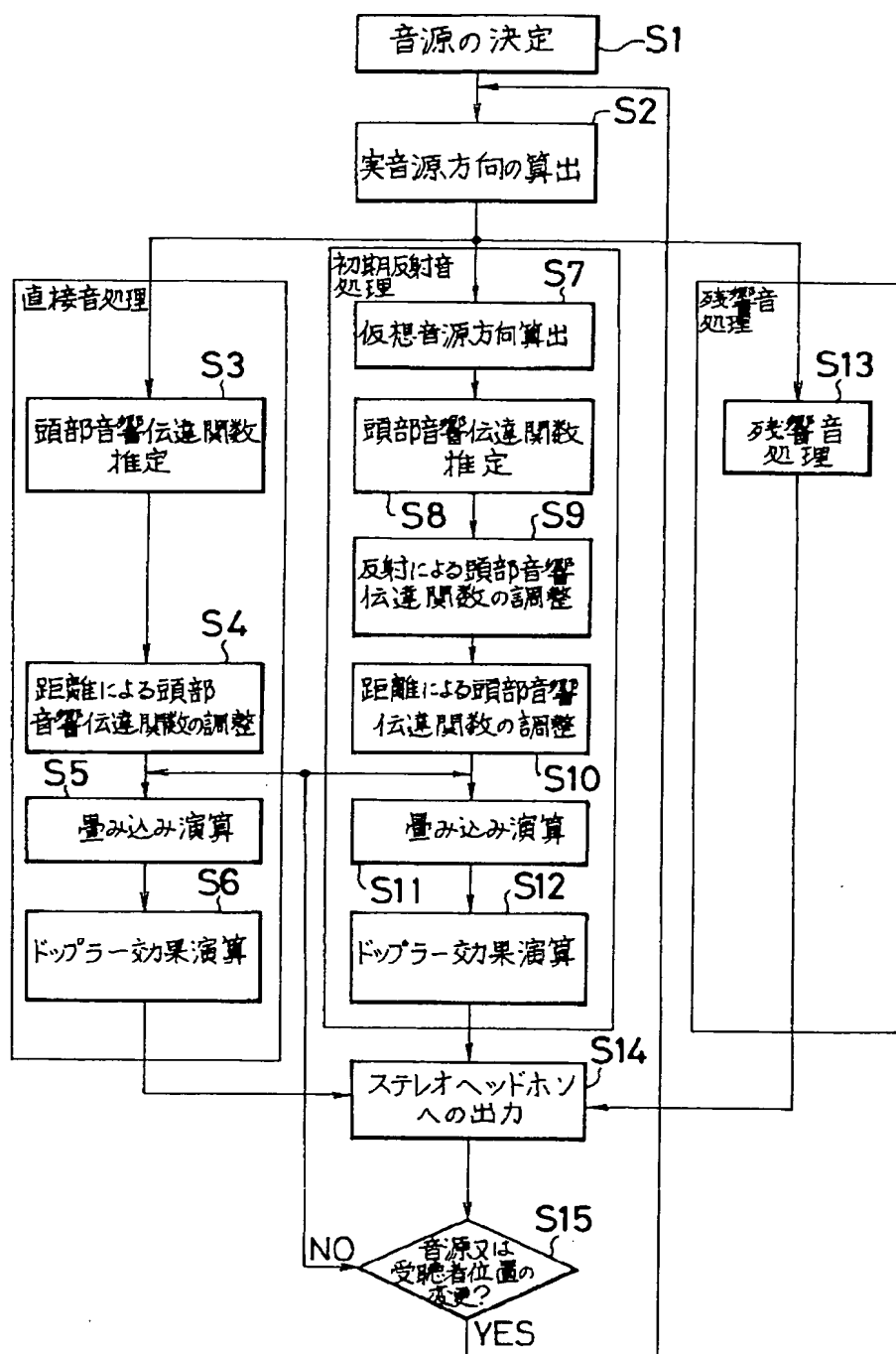
【図13a】



正面方向左耳用, 右耳用頭部音響伝達関数

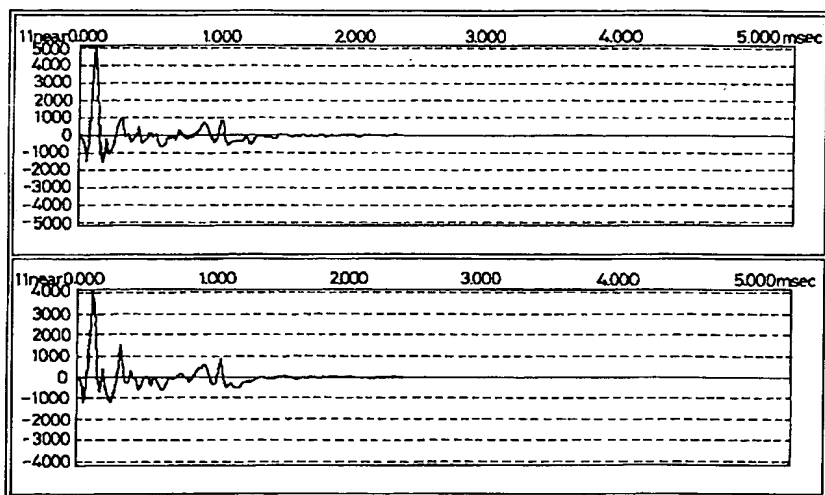
(13)

【図12】



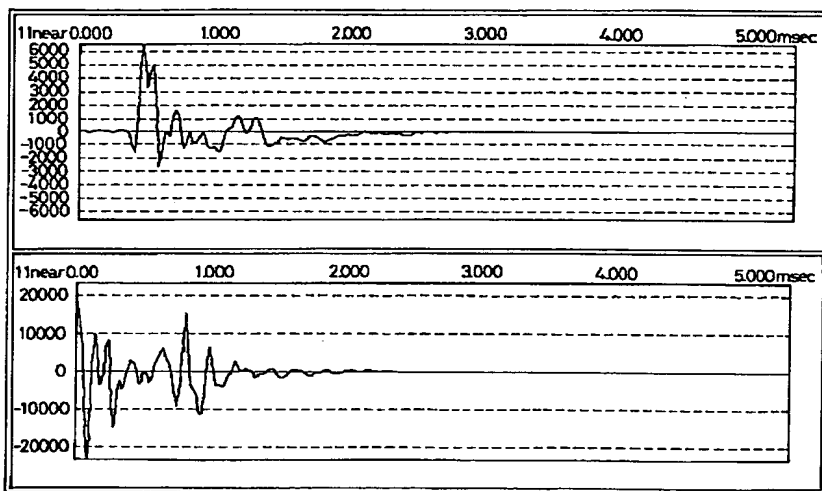
(14)

【図13b】



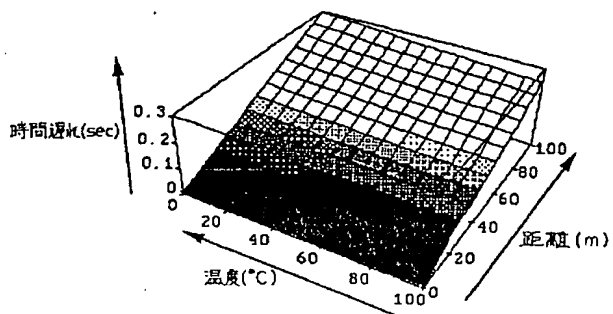
真後方向 左耳用, 右耳用頭部音響伝達関数

【図13c】



右90度方向 左耳用, 右耳用頭部音響伝達関数

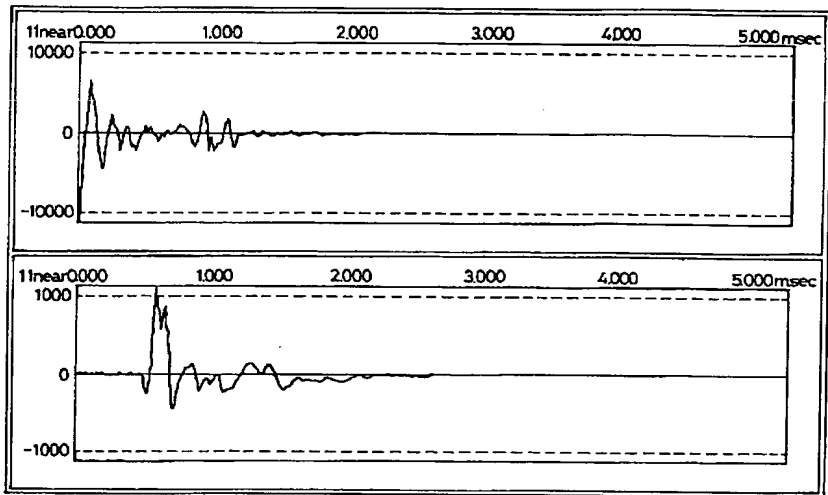
【図16】





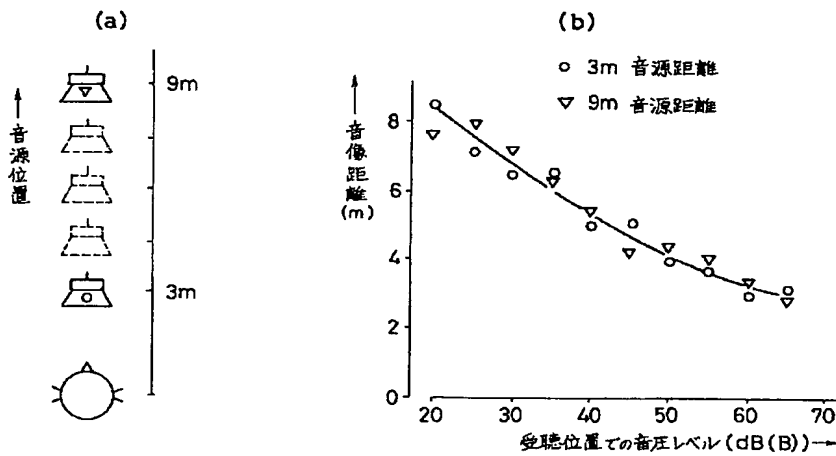
(15)

【図13d】



左90度方向 左耳用, 右耳用頭部音響伝達関数

【図14】

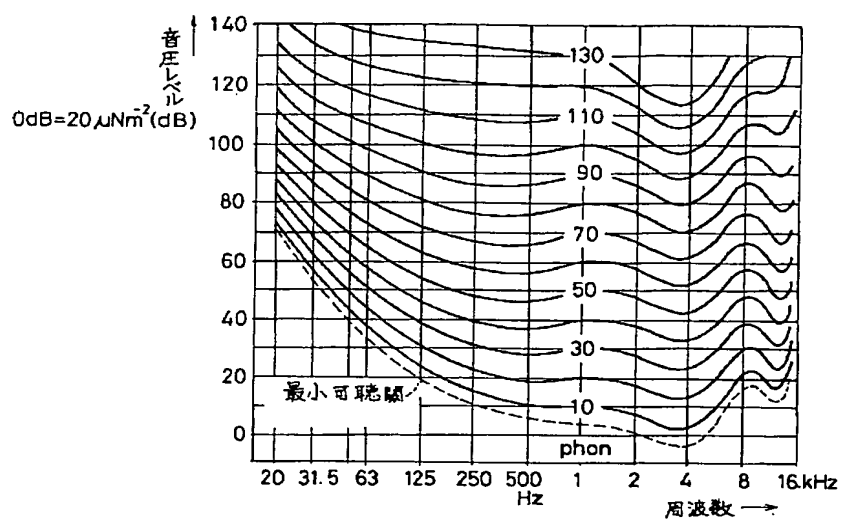


【図18】

|     | 位置            | 向き           | 移動速度    | 移動方向          | 音源識別 | 指向性  |
|-----|---------------|--------------|---------|---------------|------|--|
| 音源1 | {100,100,100} | {120,30,140} | 20 km/h | {120,200,240} | 実音源  | 2dB/cm <sup>2</sup><br>18cm <sup>3</sup><br>90degree |
| 音源2 | {300,10,20}   | {140,90,140} | 3 km/h  | {120,20,40}   | 実音源  | 4dB/cm <sup>3</sup><br>45cm <sup>3</sup><br>90degree |
| 音源3 | {10,10,10}    | {10,30,0}    | 0km/h   | {0,20,0}      | 仮想音源 | 5dB/cm <sup>3</sup><br>30cm <sup>3</sup><br>10degree |

(16)

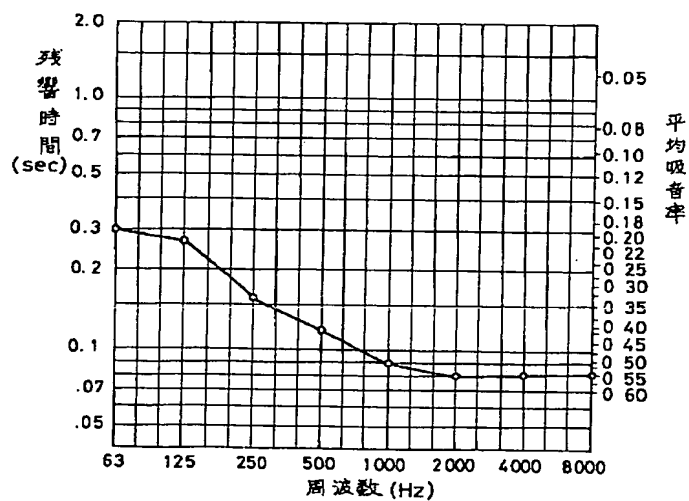
【図15】



【図19a】

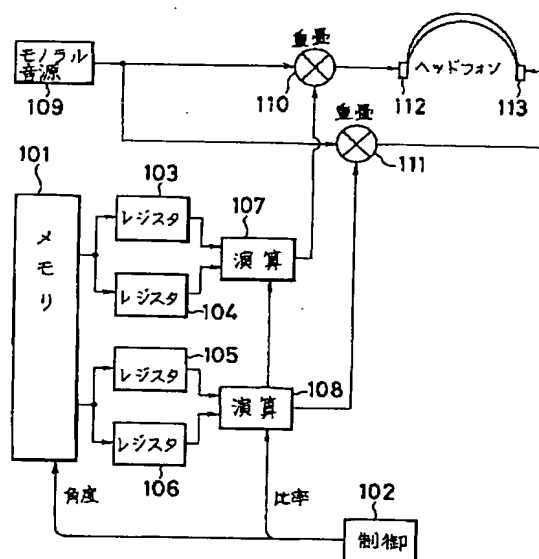
| 音場空間テーブル       |                              |
|----------------|------------------------------|
| 室容積            | 幅3000高さ4000奥行2000mm (=24 m³) |
| 平均吸収率          | 18%                          |
| 反射率            | 18%                          |
| 反射による特性変化      | (b)                          |
| 障害物の位置         | {120, 200, 240}              |
| 障害物の形状         | 幅30高さ600奥行10mm               |
| 障害物の反射率        | 27%                          |
| 障害物への反射による特性変化 | (b)                          |

【図19b】



(17)

【図20】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. 6

G 1 0 K 15/12

15/00

H 0 4 S 7/00

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

F